B 型烟粉虱对三种寄主植物及其挥发物的行为反应

曹凤勤[1,2]，刘万学[1,*]，范中南[3]，万方浩[1]，程立生[2]

（1. 中国农业科学院植物保护研究所，北京　100081；
2. 海南大学环境与植物保护学院，海口　570228；3. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所，北京　100081）

摘要：利用 Y 型嗅觉仪，测定了 B 型烟粉虱 *Bemisia tabaci*（Gennadius）雌虫对 3 种寄主植物、挥发物提取液、挥发物标样以及寄主植物挥发物模拟样的行为反应，并比较鉴定寄主植物挥发物的组分和含量，以期明确植物挥发物在 B 型烟粉虱寄主定向行为中的作用。结果表明：1）番茄植株和甘蓝植株及其相应的挥发物提取物对烟粉虱雌成虫均具有显著的引诱作用，而辣椒植株和挥发物提取物的引诱作用不明显；3 种寄主植物和挥发物提取物分别两两之间比较时，烟粉虱的选择行为均极显著地表现为番茄 > 甘蓝 > 辣椒。2）番茄、甘蓝和辣椒具有不同的挥发物化学图谱，且挥发物组分的相对百分含量差异很大；番茄挥发物总量远远大于甘蓝和辣椒；从组分来看，番茄挥发物中主要为萜烯类（89.8%），甘蓝挥发物中主要为烷烃类（53.0%）。3）8 种寄主植物挥发物标样（10^{-1} ~ 10^{-6} μL/μL）中，除 1,8-桉树脑始终对烟粉虱具有引诱作用外，丁子香酚、苎烯、里那醇和月桂烯则是分别在 10^{-4} ~ 10^{-6}，10^{-1} ~ 10^{-4}，10^{-1} ~ 10^{-4} 和 10^{-1} ~ 10^{-4} μL/μL 时，才具有引诱作用；α-蒎烯、顺-3-己烯-1-醇则在高浓度下（10^{-1} 和 10^{-2} μL/μL）对烟粉虱具有排斥作用，低浓度下对烟粉虱没有任何影响；正十二烷在任何浓度下对烟粉虱均没有任何作用。4）在辣椒上分别喷施番茄挥发物模拟样和甘蓝挥发物模拟样，均显著增加对烟粉虱的引诱作用，而在番茄上喷施辣椒挥发物模拟样则无明显增效作用。综合分析认为，挥发性物质在 B 型烟粉虱对不同寄主植物的选择偏好时具有重要的行为导向作用。

关键词：B 型烟粉虱；寄主植物；挥发性化合物；寄主选择；行为反应

中图分类号：Q966　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2008)08-0830-09

Behavioural responses of *Bemisia tabaci* B-biotype to three host plants and their volatiles

CAO Feng-Qin[1,2]，LIU Wan-Xue[1,*]，FAN Zhong-Nan[3]，WAN Fang-Hao[1]，CHENG Li-Sheng[1]（1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests，Institute of Plant Protection，Chinese Academy of Agricultural Sciences，Beijing 100081，China；2. College of Environment and Plant Protection，Hainan University，Haikou 570228，China；3. Institute of Agro-Enviromental and Sustainable Development，Chinese Academy of Agricultural Sciences，Beijing 100081，China）

Abstract：Using Y-type olfactometer，behavior response of female *Bemisia tabaci* B-biotype to three kinds of host plants，volatile extracts，volatile reference compounds，volatile ananogues were studied，and components and contents of volatiles in different host plants were compared as well. The results indicated that：1）Strong behavior selection reaction of female adults of *B. tabaci* to tomato leaves and cabbage leaves，and their volatile extracts occured，respectively，whereas no significant behaviour selection to the pepper leaves and their extracts were found，respectively. When odors from the three host plants and their volatile extracts were comparatively tested，the female adults showed the strongest host preference to tomato，followed by cabbage，and then pepper leaves. 2）There were significant difference in volatile profile，components and contents among the three host plants. Volatile quantity of tomato leaves is much more than that of cabbage leaves and

---

基金项目：国家重点基础研究规划（"973"计划）项目（2002CB111400）

作者简介：曹凤勤，女，1978 年 3 月生，河南商丘人，硕士，讲师，主要从事外来生物入侵机制和控制研究，E-mail：caofengqin@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence，E-mail：liuwx@cjac.org.cn

收稿日期 Received：2007-11-21；接受日期 Accepted：2008-06-19

pepper leaves. Main components were terpene in volatile extract of tomato（89.8%），but hydrocarbon in volatile extract of cabbage（53.0%）. 3）Among eight kinds of reference samples tested，1，8-cineole always showed strong attractableness to female *B*. *tabaci* at five concentration levels. Eugenol，limonene，linanlool and myrcene showed strong attractableness to female *B*. *tabaci* just at appropriate concentrations. However，both α-pinene and *Cis*-3-Hexen-l-of displayed repellency to *B*. *tabaci* at high concentrations，but had no effect at low concentrations. Dodecane had no distinct effect on *B*. *tabaci* at any concentrations. 4）Peper plants applied with tomato and cabbage volatiles analogues，respectively，could significantly attract *B*. *tabaci* adults. However，there was no significant difference in attractableness to female *B*. *tabaci* between tomato plants applied with pepper volatiles analogues and CK. The results suggest that volatile infochemicals from host plants play important roles in orientating behavior of *Bemisia tabaci* B-biotype.

Key words: *Bemisia tabaci*（Gennadius）B-biotype；host plant；volatile；host selection；behavioral responses

昆虫与植物的关系是一个非常重要的生物学问题，对人类的农林生产和生活环境有很大的影响（钦俊德，1995）。因此，关于植物与昆虫关系的研究一直是生态学研究的热点之一，特别是近 20 年来取得了很大的进展，已成为化学生态学研究的核心内容。

B 型烟粉虱 *Bemisia tabaci*（Gennadius）又名银叶粉虱，属同翅目粉虱科粉虱亚科，是烟粉虱种群的一个新的生物型（Perring *et al*.，1993）。B 型烟粉虱寄主种类多，据报道的寄主植物多达 74 科 500 余种，其中包括棉花、烟草、蔬菜、花卉等重要的经济作物；分布范围广，在热带、亚热带及相邻温带地区均可分布；除了可直接危害作物外还传播病毒病，造成了入侵地的作物严重的经济损失（罗晨和张芝利，2000；褚栋等，2004）。尤其是近 20 年来，其迅速入侵世界许多地区，并引起入侵地双生病毒病的流行和部分入侵地土著烟粉虱种群的下降和灭绝，从而成为最受关注的一个生物型（Brown *et al*.，1995；徐婧等，2008）。

尽管 B 型烟粉虱寄主种类多，但存在嗜好性差异，不同寄主植物上其种群数量及危害的程度不同（褚栋等，2004）。目前，国内关于 B 型烟粉虱寄主选择的报道并不多见，张永军等（2003）比较了 B 型烟粉虱在棉花、烟草、甘蓝、番茄植株上的取食和产卵选择差异性；杨中侠等（2004）评价了 B 型烟粉虱对不同蔬菜作物趋性。关于 B 型烟粉虱寄主选择机制方面，一些研究认为寄主植物气味对烟粉虱具有引诱作用（Costa *et al*.，1991；Heinz *et al*.，1993），对其触角的扫描电镜和透射电镜观察也发现存在化学感受器（Mellor and Anderson，1995；林克剑等，2007）；但也有人持相反的观点，认为烟粉虱从远处进行寄主定位时，只是利用视觉的作用，而不是嗅觉（Mound，1962；van Lenteren and Woets，1977）。Heather 等（1991）则认为短距离的视觉作用或是挥发物性气味引诱作用对于烟粉虱的寄主选择均具有一定的影响。国内在这方面的研究不多，且多是支持前者的观点，如 Jing 等（2003）研究发现寄主植物气味对烟粉虱具有明显的引诱作用，且不同寄主植物差异显著；曹凤勤等（2008）对气味和颜色的研究结果也表明，烟粉虱对寄主植物的定向行为是由嗅觉和视觉共同完成的。鉴于 B 型烟粉虱对多种作物危害的严重性，有必要对 B 型烟粉虱的寄主定向选择行为及其化学机制进行研究，为应用行为控制法防治烟粉虱提供理论依据。本文选择 B 型烟粉虱嗜好性存在差异的 3 种寄主植物（番茄、甘蓝和辣椒），从行为选择和挥发物分析和行为印证角度进行深入研究，以期探究和明确植物源气味在 B 型烟粉虱寄主选择中的作用。

1　材料与方法

1.1　材料

1.1.1　供试昆虫：烟粉虱最初采自中国农业科学院蔬菜花卉研究所番茄大棚，并在室内通过“银叶”反应和分子标记鉴定为 B 型。在控光 L∶D = 14∶10、光照强度 > 1 000 lx，控温 25 ± 3℃和控湿 RH 60% ~ 80%的温室内以甘蓝为寄主进行连代饲养。

1.1.2　供试植物：将番茄（中蔬 5 号）、甘蓝（京丰 1 号）和辣椒（中蔬 6 号）共 3 种植物的种子分别播于温室内，2 ~ 3 片真叶时移植于营养钵中，待长至 4 ~ 6 片真叶时备用。

1.2　B 型烟粉虱雌成虫对寄主植物的趋性行为测定

1.2.1　行为测定装置：Y 型嗅觉仪参考 Honda 等（1998）的方法自行设计制作。其基本组成为：空气

过滤（活性炭）装置→蒸馏水加湿装置→流量计→味源瓶→Y型玻璃管→烟粉虱释放管→真空抽气泵，各部件之间用硅胶管连接。Y型管内径为0.8 cm，基部和两臂长10 cm，夹角60°。试验时，在嗅觉仪的正上方放置一盏15 W荧光灯，Y型管两臂的气流量控制在70 mL/s，室内温度控制在25±2℃。测试前，按试验设置要求，将味源置于味源瓶中，然后通气10 min，使气味充满管道，以保证测试结果。每次测试后，用95%乙醇擦洗管的内、外壁，烘干后调换对称的两臂与味源瓶联接的位置，以消除误差。

1.2.2 处理设置：B型烟粉虱对寄主植物趋性的处理组合分别为：番茄-对照（空气），甘蓝-对照（空气）和辣椒-对照（空气）；烟粉虱对不同寄主植物趋性比较的处理组合分别为：番茄-甘蓝，甘蓝-辣椒和番茄-辣椒。

1.2.3 行为测定方法：采集烟粉虱雌虫并饥饿4 h后备用。每次测定接入1头于嗅觉仪Y型管中，观察其3 min内（即从释放口开始计时到进入两臂的时间）的行为选择反应，当雌虫越过某臂1/3处则视为选择，3 min内不作选择，则记无反应。具有行为选择的有效重复为60次。

1.3 烟粉虱雌成虫对植物挥发物粗提物的行为趋性测定

1.3.1 植物挥发物提取：收集装置：参考Turlings等（1995）的方法制作，其基本组成和流程为：空气过滤（活性炭）装置→加湿装置→流量计→吸附剂→味源瓶→吸附剂→真空抽气泵。吸附管为直径0.5 cm长8.0 cm的玻璃管，内装150 mg SuperQ（80~100目，美国色谱科Supleco公司产品）吸附剂，两端用玻璃纤维塞住。收集方法：试验前用5~10 mL的二氯甲烷（色谱纯，99.8%，Supleco）洗脱吸附剂至洗脱液在色谱上无溶质峰。每次处理分别取长势基本一致的寄主植物2株（7~8 g左右）置于味源瓶（500 mL的三口烧瓶）中，并在有光的条件下，连续抽提10 h（8:00－18:00），抽提时的气流量为70 mL/s。每次抽提完后用600 μL的二氯甲烷对吸附剂进行洗脱，得洗脱液即挥发物粗提物样品约200 μL。每种寄主植物重复抽提10次。部分粗提物样品溶于400 μL的液体石蜡油中，并保存于－20℃冰箱以备行为学测定时使用；部分直接用于挥发物组分分析。

1.3.2 处理设置：各寄主植物挥发物粗提物与对照（二氯甲烷＋液体石蜡油）：番茄粗提物-对照，甘蓝粗提物-对照，辣椒粗提物-对照；各寄主植物挥发性物质粗提物之间：番茄粗提物-甘蓝粗提物，辣椒粗提物-甘蓝粗提物，番茄粗提物-辣椒粗提物。

1.3.3 行为测定方法：行为测定装置同1.2.1。每次取25 μL样品滴在味源瓶内的滤纸上，每张滤纸测试时间为20 min，20 min后换另一张滤纸，继续测试直至一组测试完毕。其他测定方法同1.2.3。

1.4 寄主植物挥发物组分的鉴定与分析

采用气相色谱-质谱联用仪（HP5890，MS5972）对挥发物组分进行分析。GC-MS分析条件：毛细管柱：极性柱DB-5MS，膜厚0.25 μm，长30 m，内径0.25 mm；气谱条件：程序升温，45℃保持3 min，每分钟升温5℃，至230℃，保留5 min；氦气流速为1 cm/s。每次进样1 μL。进样口温度230℃，连接线温度180℃。不分流进样。数据处理：采用标准谱库和标样对照的方法对挥发物组分进行定性，用挥发物的峰面积进行相对定量比较。

1.5 烟粉虱雌成虫对植物挥发物标样的行为测定

1.5.1 挥发物标样的来源及测试样品的制备：测试的挥发物标样分别为丁子香酚（eugenol）（纯度≥99%，Fluka）、苎烯（limonene）（纯度≥98%，Fluka）、里那醇（linanlool）（纯度97%，ACROS）、月桂烯（myrcene）（纯度90%，Fluka）、α-蒎烯（α-pinene）（纯度98%，ACROS）、十二烷（dodecane）（纯度≥98%，Fluka）、顺-3-己烯-1-醇（*cis*-3-hexen-1-ol）（纯度≥98%，Fluka）和1，8-桉树脑（1，8-cineole）（纯度≥98%，Fluka）共8种。将每种标准样品100 μL溶于900 μL的液体石蜡中，在漩涡混合器上充分混合，后用液体石蜡分别按体积比配成10^{-1}~10^{-6} μL/μL，浓度系列（浓度以10倍递减）。

1.5.2 挥发物标样的行为测定：将不同浓度的各挥发性物质的标样分别与对照（液体石蜡油）进行组合来进行烟粉虱对挥发物趋性的行为测定，测定方法同1.3.3。

1.6 烟粉虱雌成虫对寄主植物挥发物标样混合物的趋性测定

1.6.1 寄主植物挥发物标样混合物的配制：根据3种寄主植物挥发物组分和含量的GC-MS分析结果，然后选择主要组分的标样按一定的比例配制出分别接近于自然条件下3种寄主植物挥发物的标样混合样品。其中番茄挥发物的模拟混合样品的标样组分为丁子香酚、苎烯、里那醇、1，8-桉树脑、（*Z*）-3-己烯醛（纯度97%，Fluka）、石竹烯（caryophyllene）（纯度90%，Aldrich）和月桂烯，各组分比例为16.98%，67.91%，0.51%，0.51%，0.34%，0.14%和

0.17%；甘蓝挥发物的模拟混合样品的标样组分为月桂烯、苎烯和石竹烯，各组分比例为 1.56%，48.44%和 50.00%；辣椒挥发物的模拟混合样品的标样组分为正壬醛（nonanal）（纯度 98%，MERCK）和 α-蒎烯，各组分比例为 85.71%和 14.29%。

1.6.2 烟粉虱雌成虫对寄主植物挥发物模拟样品的趋性测定方法：分别取上述 3 种寄主植物挥发物模拟样品 10 μL，加入 100 mL 丙酮中，再用丙酮稀释 10 倍，得 10^{-5} μL/μL 浓度溶液备用。试验分 3 种处理类型，即分别将模拟配制的番茄挥发物标样混合液和对照（丙酮）、辣椒挥发物标样混合液和对照（丙酮）、甘蓝挥发物标样混合液和对照（丙酮）分别均匀地喷到长势大致相同和清洁干净的辣椒植株、番茄植株和辣椒植株上，至叶片布满液滴但不下滴。待丙酮挥发干后，再分别将对应的寄主植物植株置于一个纱罩笼（笼框用白色角钢制成，规格为 0.8 m×0.8 m×1 m）中。笼子的正上方吊一盏 15 W 荧光灯，笼内光照强度为 120 lx，光照时间为 L∶D = 14∶10。然后每笼中接入烟粉虱雌虫 60 头左右。接虫后紧闭笼门，以防成虫逃逸。分别比较记录 12，24 和 36 h 时喷施寄主植物挥发物模拟样品和对照（丙酮）的对应测试植株上烟粉虱成虫数量。每个处理重复 5 次。

1.7 实验数据处理

行为和趋性数据采用 SPSS 软件进行 χ^2 检验。

2 结果与分析

2.1 B 型烟粉虱雌成虫对 3 种寄主植物的趋性反应

从图 1 可以看出，烟粉虱雌虫分别对番茄和甘蓝均表现出显著的趋性（*P* 值分别为 0.000 和 0.046），而对辣椒则无明显趋性；而对这 3 种植物之间的趋性选择则表现为番茄 > 甘蓝、辣椒（*P* 值均为 0.000）、而甘蓝 > 辣椒（*P* = 0.046）。

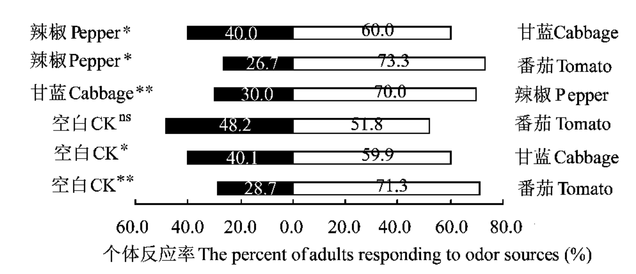


图 1　不同寄主植物对烟粉虱雌成虫的引诱作用

Fig. 1　Responses of female *Bemisia tabaci* to different host plant odor sources

*，**和 ns 分别表示差异显著（$P \leqslant 0.05$、差异极显著（$P \leqslant 0.01$）和差异不显著（$P > 0.05$），下同。*，** and ns mean there was significant diference at 0.05 level and at 0.01 level，and no significant diference at 0.05 level，respetively，when tested by Duncan's test. The same below.

2.2 烟粉虱雌成虫对 3 种植物挥发物提取物的趋性反应

图 2 结果显示，番茄挥发物提取物和甘蓝挥发物提取物均对烟粉虱具有明显的引诱作用，正向选择反应率分别为 75.0%（*P* = 0.000）和 67.2%（*P* = 0.006）；而辣椒挥发物提取物则没有明显的引诱作用（*P* = 0.785）。对不同寄主植物挥发物提取物之间趋性差异的两两比较时，番茄和甘蓝挥发物提取物分别与辣椒的挥发物提取物相比差异均达到极显著水平，而番茄与甘蓝的粗提物相比亦差异显著（*P* = 0.024）。

综合图 1 和图 2 可以看出，烟粉虱雌成虫对寄

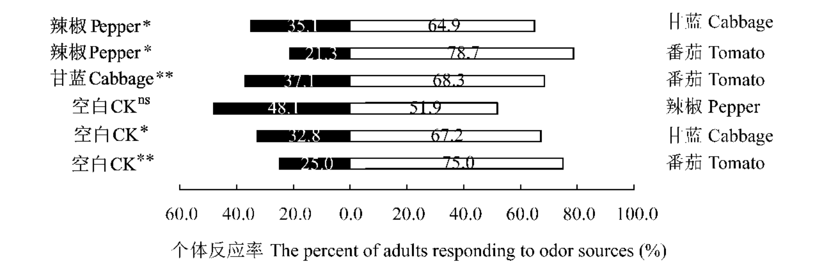


图 2　烟粉虱雌成虫对寄主植物挥发物提取物的行为反应

Fig. 2　Responses of female *Bemisia tabaci* to extract of volatiles from different host plants

主植物的挥发物粗提物的趋向性比单纯的寄主植物的趋向性强烈，但总的反应趋势是相似的。

2.3 挥发物的组分鉴定及含量分析

3 种不同寄主植物具有不同的化学图谱，且挥发物的相对百分含量差异很大(表 1)。番茄中含 15 种化合物，其中 10 种萜烯类化合物，相对百分含量为 89.8%，桉树脑、醛类、醇类和烃类相对百分含量分别为 0.3%，0.3%，1.7%和 0.9%。甘蓝挥发物中含 8 种化合物，其中萜烯类化合物 3 种，相对百分含量 5.9%，酯类和醛类各 1 种，相对百分含量分别为 9.9%，28.4%，其他均为烷烃类，相对百分含量 53.0%。辣椒中的挥发性化合物种类有烃类、醛类和少量的萜烯类，其百分含量分别为 48.6%，28.2%和 20.1%。比较 3 种植物植株挥发物组成及含量，番茄挥发物的总挥发量(总峰面积)远远大于甘蓝和辣椒；从组分来看，番茄挥发物中萜烯类化合物含量最高，其次是甘蓝，辣椒中最少；而甘蓝挥发物中主要为烷烃类挥发物。番茄和甘蓝两者的相似组分是β-月桂烯、α-石竹烯，而β-水芹烯、桉树脑、(+)-4-蒈烯、α-立方烯是番茄植株中特有的成分。苧烯是甘蓝植株挥发物中的特有成分。

表 1 番茄、甘蓝、辣椒植株挥发物的组分和含量比较

Table 3 Composition and contents of the volatiles from different host plants

挥发物名称 Name of volatile	番茄 Tomato	甘蓝 Cabbage	辣椒 Pepper
α-蒎烯 α-pinene	3.44		0.07
β-蒎烯 β-pinene	14.50		
β-月桂烯 β-myrcene	14.88	0.01	
苧烯 Limonene		0.31	
石竹烯 Caryophyllene	32.04		
α-石竹烯 α-caryophyllene	0.73	0.32	
α-立方烯 α-cubebene	0.36		
β-水芹烯 β-phellandrene	32.56		
(+)-4-蒈烯 (+)-4-carene	31.49		
α-萜品烯 α-terpinene	28.11		
3-已烯醛 3-hexenal	0.24		
正十二醛 Decanal	0.30		
壬醛 Nonanal		3.08	0.42
3-已烯-1-醇 3-hexenal-1-ol	3.02		
桉树脑 Eucalyptol	0.63		
正十二烷 n-dodecane	0.61		
正十四烷 Tetradecane	1.04	5.52	0.07
正十七烷 Heptadecane		0.24	0.35
萘 Naphthalene			0.57
β-萘 β-naphthalene		0.28	0.02
(*Z*)-3-已烯基已酸酯(*Z*)-3-hexen-1-yl acetate		1.08	
含氮化合物 2-N-hexyl-1-DI-aziridine/Dodecane			0.60
总峰面积 Sum of peak	163.95	10.84	2.10

峰面积的单位为 10^{-6} Unit of peak is 10^{-6}.

2.4 烟粉虱对挥发物标样的行为学鉴定

从表 2 可以看出寄主植物含有的 8 种挥发性化合物标样中丁子香酚、1,8-桉树脑、苧烯、里那醇和月桂烯对烟粉虱成虫有明显的引诱作用，而α-蒎烯、顺-3-已烯-1-醇和十二烷只有在高浓度体积比时，具有排斥作用，其他浓度下均无任何作用。不同的化合物的有效域值不同，其中 1,8-桉树脑始终对烟粉虱具有引诱作用，丁子香酚、苧烯、里那醇和月桂烯则是分别在 $10^{-4} \sim 10^{-6}$，$10^{-1} \sim 10^{-4}$，$10^{-1} \sim 10^{-4}$和 $10^{-1} \sim 10^{-4}$ μL/μL 时，才具有引诱作用。

2.5 烟粉虱雌成虫对模拟寄主植物挥发物的标样混合物的趋性反应

从图 3 可以看出，在辣椒植株上分别喷施番茄挥发物模拟样(图 3：A)和甘蓝挥发物模拟样(图 3：C)(相对于喷施对照)，在 36 h 内均对烟粉虱具有显著的引诱作用，显著水平分别为($P < 0.001$，$0.01 < P < 0.05$)；而在番茄上喷施辣椒挥发物模拟样(图 3：B)对烟粉虱的引诱作用无明显增效作用($P > 0.05$)。

表 2　B 型烟粉虱对不同化合物标样在不同浓度下的行为反应

Table 2　Behavioral responses of *Bemisia tabaci* to different volatile compounds at different concentrations

浓度(μL/μL) Concentration	样品 Sample	正向反应(%) Positive response	负向反应率(%) Negative response	显著性 Significance	测试虫数(头) Tested number
10^{-1}	丁子香酚 Eugenol	26.5	73.5	**	34
	1,8-桉树脑 1,8-cineole	69.7	30.3	**	33
	苎烯 Limonene	63.3	36.7	**	30
	里那醇 Linanlool	70.0	30.0	**	30
	月桂烯 Myrcene	76.7	23.3	**	30
	α-蒎烯 α-pinene	26.3	73.7	**	38
	顺-3-己烯-1-醇 *Cis*-3-hexen-1-ol	30.8	69.2	**	39
	十二烷 Dodecane	40.0	60.0	*	30
10^{-2}	丁子香酚 Eugenol	25.0	75.0	**	32
	1,8-桉树脑 1,8-cineole	70.0	30.0	**	30
	苎烯 Limonene	63.3	36.7	* *	30
	里那醇 Linanlool	64.9	35.1	**	37
	月桂烯 Myrcene	61.0	39.0	**	31
	α-蒎烯 α-pinene	32.5	67.5	**	40
	顺-3-己烯-1-醇 *Cis*-3-hexen-1-ol	41.7	58.3	ns	36
	十二烷 Dodecane	50.0	50.0	ns	30
10^{-3}	丁子香酚 Eugenol	30.8	69.2	* *	39
	1,8-桉树脑 1,8-cineole	74.3	25.7	**	35
	苎烯 Limonene	70.0	30.0	**	30
	里那醇 Linanlool	53.3	46.7	ns	30
	月桂烯 Myrcene	55.3	44.7	ns	38
	α-蒎烯 α-pinene	47.5	52.5	ns	40
	顺-3-己烯-1-醇 *Cis*-3-hexen-1-ol	47.6	52.4	ns	42
	十二烷 Dodecane	50.0	50.0	ns	30
10^{-4}	丁子香酚 Eugenol	69.7	30.3	**	33
	1,8-桉树脑 1,8-cineole	78.8	21.2	**	33
	苎烯 Limonene	63.3	36.7	**	30
	里那醇 Linanlool	ns	ns	ns	ns
	月桂烯 Myrcene	ns	ns	ns	ns
	α-蒎烯 α-pinene	ns	ns	ns	ns
	顺-3-己烯-1-醇 *Cis*-3-hexen-1-ol	ns	ns	ns	ns
	十二烷 Dodecane	ns	ns	ns	ns
10^{-5}	丁子香酚 Eugenol	74.3	25.7	**	32
	1,8-桉树脑 1,8-cineole	72.7	27.3	**	33
	苎烯 Limonene	56.7	43.3	ns	30
	里那醇 Linanlool	ns	ns	ns	ns
	月桂烯 Myrcene	ns	ns	ns	ns
	α-蒎烯 α-pinene	ns	ns	ns	ns
	顺-3-己烯-1-醇 *Cis*-3-hexen-1-ol	ns	ns	ns	ns
	十二烷 Dodecane	ns	ns	ns	ns
10^{-6}	丁子香酚 Eugenol	74.3	25.7	**	35
	1,8-桉树脑 1,8-cineole	75.8	24.2	**	33
	苎烯 Limonene	56.7	43.3	ns	30
	里那醇 Linanlool	ns	ns	ns	ns
	月桂烯 Myrcene	ns	ns	ns	ns
	α-蒎烯 α-pinene	ns	ns	ns	ns
	顺-3-己烯-1-醇 *Cis*-3-hexen-1-ol	ns	ns	ns	ns
	十二烷 Dodecane	ns	ns	ns	ns

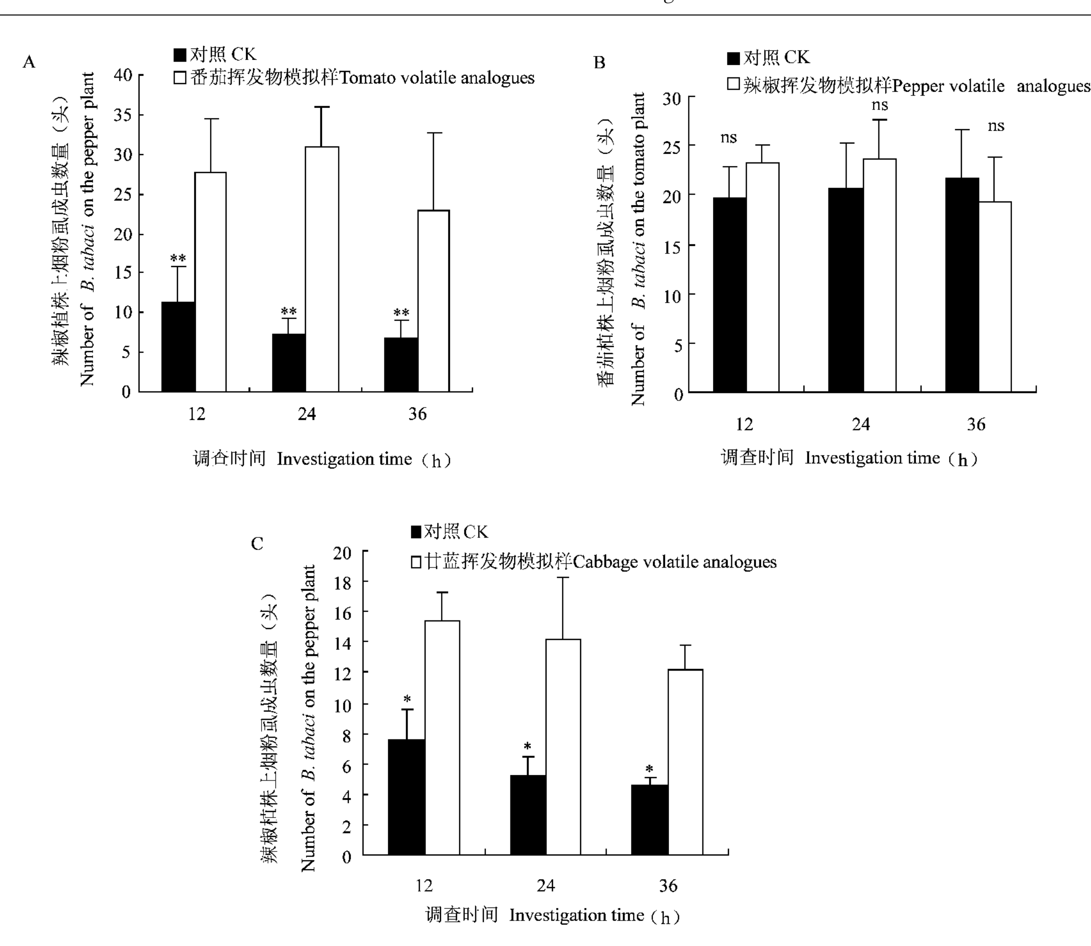


图 3 不同寄主植物挥发物模拟样对烟粉虱雌成虫的引诱作用

Fig. 3 The number of female *Bemisia tabaci* on pepper, tomato and pepper plants applied with tomato, pepper and cabbage volatile analogues, respectively

A：辣椒植株上分别喷施番茄挥发物模拟样和对照 Tomato volatile analogue and CK were applied on pepper plants;
B：番茄植株上分别喷施辣椒挥发物模拟样和对照 Pepper volatile analogue and CK were applied on tomato plants;
C：辣椒植株上分别喷施甘蓝挥发物模拟样和对照 Cabbage volatile analogue and CK were applied on pepper plants.

3 结论与讨论

植食性昆虫对寄主植物的识别一般分发生在停落前和停落后两个阶段。Costa 等（1991）认为烟粉虱在着落到植株上以前就已经对寄主植物作出了选择，并且这种选择不是随意的，引起这种行为的原因可能是短距离的视觉作用或是挥发物性气味引诱作用。Jing 等（2003）认为烟粉虱进行寄主定位时，寄主植物气味对烟粉虱具有引诱作用，且不同嗜好性的寄主植物对烟粉虱的定向行为差异达到显著水平；曹凤勤等（2008）研究发现，B 型烟粉虱在对寄主定向和定位过程中，视觉和嗅觉均起作用，但在对同种颜色（绿色）的寄主进行选择和定位的过程中，嗅觉起主要作用，而对不同种颜色（红、黄、绿）的选择和定位时，其视觉起决定作用。Mellor 和 Anderson（1995）和林克剑等（2007）对烟粉虱的触角进行扫描电镜观察，发现了与气味相关的化学感器。但也有人持相反的观点，认为植物气味在烟粉虱的寄主定位中作用不大（Mound，1962；van Lenteren and Woets，1977；Heinz *et al*.，1993）。本文的研究结果则进一步证实了寄主植物挥发物在 B 性烟粉虱的寄主定位中具有重要的行为导向作用。这也与 B 型烟粉虱田间种群危害的实际嗜好性相一致（林克剑等，2006）。

顺-3-己烯-1-醇、α-蒎烯与烷烃类化合物十二烷在高浓度（10^{-1} 和 10^{-2} μL/μL）时，对烟粉虱雌成虫具有较强的排斥作用（$P < 0.01$），而在低浓度下均没有任何引诱作用。因此普通的绿叶气味可能不是引诱烟粉虱的主要化合物。番茄植株挥发物中有特定香味的物质 1，8-桉树脑、丁子香酚、苎烯、里那醇和月桂烯（Buttery *et al*.，1987），均对烟粉虱具有一定的引诱作用。不同化合物具有不同域值的效应，这可能与不同化合物的挥发性强弱因素有关。据

Buttery 等(1987)报道，1,8-桉树脑、丁子香酚等是构成番茄植株挥发物特殊香味的主要成分，但部分化合物在挥发物中的相对百分含量很低，但本试验中仅检测到 1,8-桉树脑、3-已烯醛、石竹烯、β-水芹烯。除了绿叶气味之外，甘蓝植株挥发物中也存在少量的苎烯，番茄和甘蓝两者的相似组分至少 β-月桂烯、a-石竹烯、苎烯。结合试验 1.2.4 的结果，以及番茄、甘蓝对烟粉虱的引诱作用表现，可以初步认为丁子香酚、苎烯、1,8-桉树脑是引诱烟粉虱成虫的主要物质。

本研究中烟粉虱对来自寄主植物的粗提物的反应明显比对活体植株的反应强烈，可能是前者中挥发物的浓度比后者要高，但是试验中曾用更高的浓度(挥发物与二氯甲烷混合物：液体石蜡油为 1∶1)比例，结果发现反而有明显的排斥作用。这说明并非挥发物的浓度越高，对烟粉虱的引诱作用越强烈。因此植物气味中各成分及浓度比例至关重要(杜永均和严福顺，1994)。

本文在前述实验的基础上，根据 Buttery 等(1987)报道的番茄叶片挥发物指纹图谱以及 GC-MS 分析结果，模拟寄主植物单位时间内挥发的挥发性物质真实浓度，将多种挥发物标样按比例组分配制成 10^{-5}(μL/μL)混合液进行烟粉虱的诱虫效果检测，其结果番茄和甘蓝挥发物标样混合液均对烟粉虱具有一定的引诱作用，而辣椒挥发物标样对烟粉虱的作用不明显。这说明挥发性物质在烟粉虱寄主定向的过程中起这重要的作用。本试验的试验结果，与单个挥发物标样对烟粉虱的行为测验的结果相比，进一步证实了昆虫对植物挥发物的识别往往不是对其中某个单一组分的识别，而是通过识别不同挥发物组分按一定比例组成的挥发物质文图谱来识别寄主植物的(Agelopoulos and Keller，1994)。

参 考 文 献(References)

Agelopoulos N，Keller MA，1994. Plant natural enemy association in tritrophic system *Cotesia rubecula-Pieris rapae-Brassi caceae* (Cruciferae)：Ⅲ. Collection and identification of plant and frass volatiles. *J. Chem. Ecol.*，20(8)：1 995 – 1 967.

Brown JK，Frohlich DR，Rosell RC，1995. The sweetpotato or silverleaf whiteflies: biotypes of *Bemisia tabaci* or a species complex. *Annual Review of Entomology*，40：511 – 534.

Buttery RG，Ling LC，Light DM，1987. Tomato leaf volatile aroma components. *J. Agric. Food Chem.*，35：1 039 – 1 042.

Cao FQ，Liu WX，Wan FH，Cheng LS，2008. Behavior selection of *Bemisia tabaci* B-biotype to different host plants and colors. *Chinese Bulletin of Entomology*，45(3)：431 – 436. [曹凤勤，刘万学，万方浩，程立生，2008. 寄主挥发物、叶色在 B 型烟粉虱寄主选择中的作用. 昆虫知识，45(3)：431 – 436]

Chu D，Zhang YJ，Cong B，Xu BY，Wu QJ，2004. The invasive mechanism of a worldwide important pest，*Bemisia tabaci* (Gennadius) biotype B. *Acta Entomologica Sinica*，47(3)：400 – 406. [褚栋，张友军，从斌，徐宝云，吴青君，2004. 世界性重要害虫 B 型烟粉虱的入侵机制. 昆虫学报，47(3)：400 – 406]

Costa HS，Brown JK，Byrne DN，1991. Host plant selection by the whitefly，*Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera：Aleyrodidae) under greenhouse conditions. *J. Appl. Entomol.*，112：146 – 152.

Du YJ，Yan FS，1994. The role of plant volatiles in tritrophic interactions among phytophagous insects，their host plants and natural enemies. *Acta Entomologica Sinica*，37(2)：233 – 244. [杜永均，严福顺，1994. 植物挥发性物质在植食性昆虫、寄主植物和昆虫天敌关系中的作用机理. 昆虫学报，37(2)：233 – 244]

Heinz K，Lin E，Parrella MP，1993. Behavioural response of *Bemisia tabaci* (Gennadius) to olfactory cues emitted by poinsettia. *Bull. OILB/SROP*，16：59 – 61.

Heather S，Costa Juditb，Brown K，Byrne DN，1991. Host plant selection by *Bemisia tabaci* under greenhouse conditions. *J. Appl. Ent.*，112：147 – 152.

Honda K，Omura H，Hayashi N，1998. Identification of floral volatiles from *Ligustrum japonicum* that stimulate flower-visiting by cabbage butterfly，*Pieris rapae*. *J. Chem. Ecol.*，24(12)：2 167 – 2 180.

Jing Y，Huang J，Ma RY，Han JC，2003. Host plant preferences of *Bemisia tabaci* Gennadius. *Entomol. Sin.*，10(2)：109 – 114. [荆英，黄建，马瑞燕，韩巨才，2003. 烟粉虱对不同寄主植物定向行为研究. 中国昆虫科学，10(2)：109 – 114]

Lin KJ，Wu KM，Zhang YJ，Guo YY，2006. Evaluation of piemarker *Abutilon theophrasti* Medic as a trap plant in the integrated management of *Bemisia tabaci* (biotype B) in cotton and soybean crops. *Agricultural Sciences in China*，39(7)：1 379 – 1 386. [林克剑，吴孔明，张永军，郭予元，2006. 利用诱集寄主苘麻防治 B 型烟粉虱的研究. 中国农业科学，39(7)：1 379 – 1 386]

Lin KJ，Wu KM，Zhang YJ，Guo YY，2007. Research on the ultrastructures of the antennal sensilla of *Bemisia tabaci* Gennadius and the olfactory behavioral actions to the odors of host plants. *Acta Phytophylacica Sinica*，34(4)：379 – 384. [林克剑，吴孔明，张永军，郭予元，2007. B 型烟粉虱触角感受器的超微结构及对寄主植物气味的嗅觉行为反应. 植物保护学报，34(4)：379 – 384]

Luo C，Zhang ZL，2000. Study Progress on *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Beijing Agricultural Sciences*，18(Suppl.)：4 – 13. [罗晨，张芝利，2000. B 型烟粉虱(*Bemisia tabaci*)研究概述. 北京农业科学，18(增刊)：4 – 13]

Mellor HE，Anderson M，1995. Antennal sensilla of whiteflies：*Trialeurodes vaporariorum* (Westwood)，the glasshouse whitefly，*Aleyrodes proletella* (Linnaeus)，the cabbage whitefly，and *Bemisia tabaci* (Gennadius)，the tobacco whitefly (Homoptera，Aleyrodidae). Part 1：External morphology. *Int. J. Insect Morph. Embryol.*，24(2)：133 – 143.

Mound LA，1962. Studies on the olfaction and colour sensitivity of *Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera，Aleyrodidae). *Ent. Exp. Appl.*，5(2)：99 – 104.

Perring TM，Cooper AD，Rodriguer RJ，Farrar CA，Bellows TS Jr，1993. Identification of a whitefly species by genomic and behavioral studies. *Science*，259：74 – 77.

Qin JD，1995. Studies on insect-plant relationships：recent trends and prospect. *Acta Zoologica Sinica*，41（1）：12 – 19.［钦俊德，1995. 昆虫与植物关系的研究进展和前景. 动物学报，41（1）：12 – 19］

Turlings TCJ，Loughrin JH，McCall PJ，Röse USR，Lewis WJ，Tumlinson RG，1995. How caterpillar-damaged plants protect themselves by attracting parasitic wasps. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*，92：4 169 – 4 174.

van Lenteren JC，Woets J，1977. Development and establishment of biological control of some glasshouse pests in the Netherlands. In：Smith F，Webb RE eds. Pest Management in Protected Crops USDA，AS，ARS-NS-85，Washington，D. C. 81 – 87.

Xu J，Luan JB，Liu SS，2008. Behavioural and ecological mechanisms of invasion by the B biotype of the whitefly *Bemisia tabaci*. *Chinese Bulletin of Entomology*，2008，45（3）：347 – 352.［徐婧，栾军波，刘树生，2008. 重大外来害虫 B 型烟粉虱的入侵行为和生态机制. 昆虫知识，45（3）：347 – 352］

Yang ZX，Ma CS，Wang XQ，Long HR，Liu XY，Yang X，2004. Preference of *Bemisia tabaci*（Gennadius）（Homoptera：Aleyrodidae）to four vegetable hosts. *Acta Entomologica Sinica*，47（5）：612 – 617.［杨中侠，马春森，王小奇，龙厚茹，刘晓英，杨修，2004. 烟粉虱对四种蔬菜寄主的选择性. 昆虫学报，47（5）：612 – 617］

Zhang YJ，Liang GM，Ni YX，Wu KM，Guo YY，2003. Selection of the adult of *Bemisia tabaci*（Gennadias）to different host plants. *Plant Protection*，29（2）：20 – 22.［张永军，梁革梅，倪云霞，吴孔明，郭予元. 2003. 烟粉虱成虫对不同寄主植物的选择性. 植物保护，29（2）：20 – 22］

（责任编辑：赵利辉）